

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-333660

(43)Date of publication of application : 22.12.1995

(51)Int.Cl.

G02F 1/35  
G02B 6/12

(21)Application number : 06-131512

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 14.06.1994

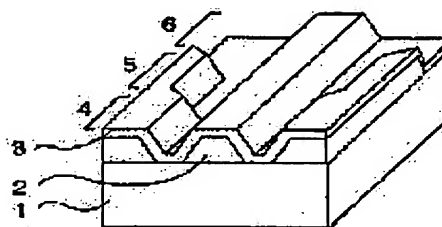
(72)Inventor : NAKAMURA SHIGERU  
TAJIMA KAZUTO

## (54) NONLINEAR OPTICAL ELEMENT

## (57)Abstract:

PURPOSE: To decrease control light energy of a nonlinear optical element of a waveguide type which executes high-speed photo-photo control by utilizing a band filling effect by absorption of control light.

CONSTITUTION: This nonlinear optical element has an InGaAs/InGaAsP multiplex quantum well structure 2 which is an optical waveguide part to develop a nonlinear change in refractive index on an InP substrate 1. The band gap energy of the optical waveguide part in regions 4 to 6 decreases stepwise and monotonously along the propagation direction from an incident side. Both of the control light and the signal light are made incident on the element from the region 4 side. The control light is absorbed in the optical waveguide part of the element and carriers are formed, by which the change in the refractive index is induced in the optical waveguide part. A phase shift of the signal light propagating in the optical waveguide part is then induced. The coefft. of absorption to the control light is larger in order of the regions 4 to 6. The concentration of the carriers near to the incident port is thus averted and the carriers are more uniformly distributed over the entire length of the waveguide. The nonlinear change in the refractive index is not satd. over the entire length of the waveguide and the efficient signal light phase shift is obtd.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.06.1994

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 21.04.1998

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2921397

[Date of registration] 30.04.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 10-08241

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection] 21.05.1998

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-333660

(43) 公開日 平成7年(1995)12月22日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/35

G 0 2 B 6/12

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/12

H

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-131512

(22) 出願日 平成6年(1994)6月14日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 中村 滋

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

(72) 発明者 田島 一人

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

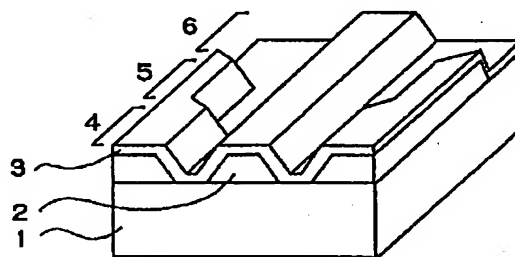
(54) 【発明の名称】 非線形光学素子

(57) 【要約】

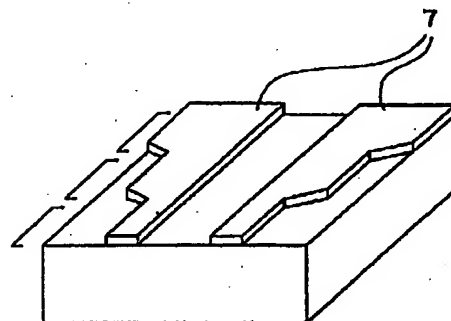
【目的】 制御光吸収によるバンドフィリング効果を利用した高速の光-光制御を行う導波路型の非線形光学素子において、制御光エネルギーの低減を図る。

【構成】 InP基板1上に、非線形屈折率変化の発現する光導波部であるInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造2を有し、領域4、5、6での光導波部のバンドギャップエネルギーは入射側から伝搬方向に沿って段階的に単調減少している。制御光、信号光とも領域4側から素子へ入射される。制御光が素子の光導波部で吸収されキャリアを生成することによって光導波部での屈折率変化が起こり、光導波部を伝搬する信号光の位相シフトが起こる。制御光に対する吸収係数は、領域4、5、6の順に大きくなり、入射口付近へのキャリアの集中が避けられ、また導波路の全長にわたってより均一にキャリアが分布する。導波路の全長にわたって非線形屈折率変化が飽和せず、効率的な信号光位相シフトが得られる。

(A)



(B)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】制御光吸収により非線形屈折率変化を示す材料で成る光導波部を有する導波路型非線形光学素子において、該光導波部のバンドギャップ波長が入射口側から出射口側へ段階的に単調増加となる構造を有することを特徴とする非線形光学素子。

【請求項2】制御光吸収により非線形屈折率変化を示す材料で成る光導波部を有する導波路型非線形光学素子において、該光導波部のバンドギャップ波長が入射口側から出射口側へ連続的に単調増加となる構造を有することを特徴とする非線形光学素子。

【請求項3】制御光吸収により非線形屈折率変化を示す材料で成る光導波部を有する導波路型非線形光学素子において、非線形屈折率変化発現部以外の光導波部が、制御光を透過させるバンドギャップ波長を有する材料で成り、非線形屈折率変化発現部の光導波部が、入射側から出射側へ段階的あるいは連続的に単調増加となるバンドギャップ波長を有する材料で成ることを特徴とする非線形光学素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、非線形光学素子に関し、特に光ファイバ通信や光情報処理等の分野で用いられる光制御素子として用いられる非線形光学素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムや光情報処理システムの高速化には、光制御を行う素子の動作の高速化が必要不可欠である。従来、光制御素子においては電気信号により光制御を行う方法（電気-光制御）がとられてきたが、近年、より高速の動作が期待される方法として、光により光制御を行う方法（光-光制御）が注目されている。

【0003】例えば、本願出願人による出願特願平4-341863号には、光吸収により非線形屈折率変化を示す光導波部に静電界を印加する手段を有する非線形光学素子が記載されている。この素子の光導波部では、制御光が吸収され、励起されたキャリアによるバンドフィリング効果によって非線形屈折率変化が引き起こされる。この非線形屈折率変化により、光導波部を伝搬する信号光が位相変調される。バンドフィリング効果による非線形屈折率変化の場合、その発現に要する時間は非常に短い（1ps以下）が、消失に要する時間は、励起されたキャリアの寿命（通常1ns以下）によって定まり、素子の高速動作を妨げる。そこで、特願平4-341863号に記載の素子では、光導波部に静電界を印加し励起されたキャリアを光導波部外に掃引することにより、非線形屈折率変化の回復を高速化している。

【0004】図5に示す、上記の特徴を有する非線形光学素子の一例を示す。Siを $10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドーピングした

2

GaAs基板22上に、Siを $10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドーピングした厚さ $2\mu\text{m}$ の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.07$ ) 下部クラッド層23、ノンドーピングで厚さ $0.5\mu\text{m}$ のGaAsコア層24、ノンドーピングで厚さ $0.2\mu\text{m}$ の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.07$ ) 上部クラッド層25、Beを $10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドーピングした厚さ $0.6\mu\text{m}$ の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.07$ ) 上部クラッド層26、Beを $10^{18}\text{cm}^{-3}$ ドーピングした厚さ $0.2\mu\text{m}$ のGaAsキャップ層27が順に積層されている。さらに、エッチングプロセスにより高さ $0.9\mu\text{m}$ 、幅 $4\mu\text{m}$ のストライプが形成されている。素子表面には $\text{SiO}_2$ 絶縁膜28と電極29が積層され、電極29はGaAsキャリア層27にオーミック接触している。また、基板22の裏面にもオーミック電極21が形成されている。

【0005】電極21、29の間には、逆バイアス電圧が印加されており、これによってGaAsコア層24に静電界が印加される。この素子に、光導波部で吸収される制御光パルスと光導波部を伝搬する信号光が入射される。制御光パルスが吸収されることにより光導波部にキャリアが生成され、非線形屈折率変化が引き起こされる。生成されたキャリアは、光導波部に印加された静電界により光導波部外へ掃引される。すなわち、電子および正孔はそれぞれ下部クラッドと上部クラッドへ掃引される。この結果、非線形屈折率変化は消失する。信号光はこの屈折率の変化によって位相変調される。以上のような一連の動作によって高速の光制御が行われる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、半導体中へのキャリア生成に伴う非線形屈折率変化は、キャリア密度の増加と共に増大するが、非線形屈折率変化の増加率はキャリア密度の増加と共に小さくなる。すなわち、非線形屈折率変化は、キャリア密度が大きくなると飽和する傾向を示す。したがって、導波路上にキャリア密度の大きい領域と小さい領域が存在するような不均一な場合よりも、均一にキャリアが分布する場合の方が、低いキャリア総数で同じ大きさの屈折率変化を得られることになる。すなわち、低い制御光パルスエネルギーでの動作が可能になる。

【0007】ところが、図5に示した素子では、光導波部に生成されるキャリア密度は、図6に示すように伝搬方向に沿って単調減少となる。光導波路の入口付近ではキャリア密度が大きくなるが、非線形効果の飽和により効率的な屈折率変化が得られなくなる。したがって、低エネルギー動作の点で不利となる。

【0008】本発明の目的は、光導波部の吸収端波長を光導波路の伝搬方向に沿って変化させ、制御光吸収により生成されるキャリアの密度の伝搬方向に沿った不均一性を抑制することで、低エネルギー動作が可能な非線形光学素子を提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】第一の発明は、制御光吸収により非線形屈折率変化を示す材料で成る光導波部を有する導波路型非線形光学素子において、該光導波部のバンドギャップ波長（バンドギャップに相当する波長）が入射口側から出射口側へ段階的に単調増加となる構造（すなわちバンドギャップエネルギーは単調減少となる構造）を有することを特徴とする非線形光学素子である。

【0010】第二の発明は、制御光吸収により非線形屈折率変化を示す材料で成る光導波部を有する導波路型非線形光学素子において、該光導波部のバンドギャップ波長が入射口側から出射口側へ連続的に単調増加となる構造を有することを特徴とする非線形光学素子である。

【0011】第三の発明は、制御光吸収により非線形屈折率変化を示す材料で成る光導波部を有する導波路型非線形光学素子において、非線形屈折率変化発現部以外の光導波部が、制御光を透過させるバンドギャップ波長を有する材料で成り、非線形屈折率変化発現部の光導波部が、入射側から出射側へ段階的あるいは連続的に単調増加となるバンドギャップ波長を有する材料で成ることを特徴とする非線形光学素子である。

## 【0012】

【実施例】図1(A)に、第一の発明による非線形光学素子の一実施例の構造を示す。半絶縁性InP基板1上に、減圧MOVPE法による選択成長を用いて、InGaAs/InGaAsP(1.15 $\mu$ m組成)多重量子井戸構造2を形成する。多重量子井戸構造2は、InGaAsウェル層とInGaAsPバリア層が交互に20層ずつ積層された構造となっている。多重量子井戸構造2の成長前には、InP基板1上にあらかじめ堆積させたSiO<sub>2</sub>をパターニングし、図1(B)に示すようなマスク7を形成しておく。多重量子井戸構造2を成長させるためのストライプ開口部の幅は2 $\mu$ m、ストライプ開口部の両脇のマスク幅は、領域4では5 $\mu$ m、領域5では10 $\mu$ m、領域6では15 $\mu$ mである。ここで、各領域4、5、6の長さは、150 $\mu$ mである。多重量子井戸構造2を成長した後、マスク7を除去し、さらに減圧MOVPE法を用いてInPで埋め込む。これによって、多重量子井戸構造2を光導波部とする半導体光導波路が作製される。

【0013】選択成長により形成されたInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造2では、領域4、5、6でInGaAs層の厚さが異なる。これは、ストライプ両脇のマスク幅が、領域4、5、6で異なるためである。実際、フォトルミネッセンスのピーク波長を測定すると、領域4では1.42 $\mu$ m、領域5では1.46 $\mu$ m、領域6では1.50 $\mu$ mとなった。量子井戸の幅の違いにより、量子準位が異なるからである。

【0014】この非線形光学素子に対し、波長1.50

$\mu$ mの制御光パルスと、波長1.55 $\mu$ mの信号光を、領域4側から光導波部に入射する。制御光は光導波部で吸収され、その結果、光導波部にキャリアが生成され、非線形屈折率変化が引き起こされる。生成されたキャリアは、再結合により消滅し、これによって、非線形屈折率変化は消失する。信号光は、光導波部を伝搬するが、前記の非線形屈折率変化によって位相変調される。

【0015】領域4、5、6での制御光に対する吸収係数をそれぞれ $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ とすると、 $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$ となる。したがって、制御光吸収によって生成されるキャリア密度は、図2に示すように、伝搬方向に沿って均一化される。すなわち、導波路の全長にわたって効率的な屈折率変化が起こり、低エネルギーでの光制御が可能になる。

【0016】第一の発明について、導波路を3領域に分割した非線形光学素子を例にとって説明したが、領域の数は3個に限定されるわけではない。むしろ、多数個に分割する方が、各領域の光導波部の吸収係数をより最適に調整することが可能となる。

【0017】図3(A)に、第二の発明による非線形光学素子の一実施例の構造を示す。半絶縁性InP基板1上に、減圧MOVPE法による選択成長を用いて、InGaAs/InGaAsP(1.15 $\mu$ m組成)多重量子井戸構造2を形成する。多重量子井戸構造2は、InGaAsウェル層とInGaAsPバリア層が交互に20層ずつ積層された構造となっている。多重量子井戸構造2の成長前には、InP基板1上にあらかじめ堆積させたSiO<sub>2</sub>をパターニングし、図3(B)に示すようなマスク8を形成しておく。多重量子井戸構造2を成長させるためのストライプ開口部の幅は2 $\mu$ m、ストライプ開口部の両脇のマスク幅は、5 $\mu$ mから15 $\mu$ mまで連続的に変化している。多重量子井戸構造2を成長した後、マスク8を除去し、さらに減圧MOVPE法を用いてInPで埋め込む。これによって、多重量子井戸構造2を光導波部とする半導体光導波路が作製される。

【0018】選択成長により形成されたInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造2では、InGaAs層の厚さが連続的に変化する。これは、ストライプ両脇のマスク幅が、連続的に変化しているためである。実際、フォトルミネッセンスのピーク波長を測定すると、入射口9の近傍では1.42 $\mu$ m、出射口10の近傍では1.50 $\mu$ mとなった。

【0019】この非線形光学素子に対し、波長1.50 $\mu$ mの制御光パルスと、波長1.55 $\mu$ mの信号光を、入射口9から光導波部に入射する。制御光は光導波部で吸収され、その結果、光導波部にキャリアが生成され、非線形屈折率変化が引き起こされる。生成されたキャリアは、再結合により消滅し、これによって、非線形屈折率変化は消失する。信号光は光導波部を伝搬するが、前記の非線形屈折率変化によって位相変調される。

【0020】制御光に対する吸収係数は、入射口9から出射口10まで単調に増加する。したがって、制御光吸収によって生成されるキャリア密度は、伝搬方向に沿って均一化される。すなわち、導波路の全長にわたって効率的な屈折率変化が起こり、低エネルギーでの光制御が可能になる。

【0021】図4に、第三の発明による非線形光学素子の一実施例の上面図を示す。半絶縁性InP基板上に、InGaAs/InGaAsP(1.15 $\mu$ m組成)多重量子井戸構造からなる光導波部を形成する。多重量子井戸構造2は、InGaAsウェル層とInGaAsPバリア層が交互に20層ずつ積層された構造となっている。この多重量子井戸構造は、減圧MOVPE法による選択成長を用いて形成される。すなわち、成長前にInP基板上にあらあじめ堆積させたSiO<sub>2</sub>をパターニングしてマスクを形成し、マスク開口部に多重量子井戸構造を成長させる。成長後、マスクを除去し、さらに減圧MOVPE法を用いてInPで埋め込む。これによって、多重量子井戸構造を光導波部とする半導体光導波路が作成される。光導波路は、制御光吸収により非線形屈折率変化を引き起こす非線形屈折率変化発現部11、12、制御光入力ポート13、15、信号光入力ポート14、信号光干渉部16、信号光出力ポート17、18から成る。非線形屈折率変化発現部11、12では、多重量子井戸構造成長時に、ストライプ両脇のマスク幅を変化させることにより、入力側から出力側へInGaAs層の厚さを増大させる。実際、フォトルミネセンスのピーク波長を測定すると、非線形屈折率変化発現部11、12の入力側の領域19で1.42 $\mu$ m、出力側の領域20で1.50 $\mu$ m、また、11、12以外の光導波部では1.42 $\mu$ mであった。

【0022】この非線形光学素子に対し、波長1.50 $\mu$ m、パルス幅1psの制御光パルスを、制御光入力ポート13、15へ、時間差10psをおいて入射する。すなわち、ポート13へ制御光パルスを入射した10ps後に、ポート15へ制御光パルスを入射する。また、波長1.55 $\mu$ mの信号光を、信号光ポート14へ入射する。初期状態では、信号光は信号光出力ポート17より出力される。制御光入力ポート13、15から入射された制御光は、それぞれ非線形屈折率変化発現部11、12まで伝搬した後、吸収される。11での非線形屈折率変化の立ち上がりに伴い、信号光の出力されるポートが17から18へ切り替わり、その10ps後、12での非線形屈折率変化の立ち上がりに伴い、11で生じている屈折率変化の効果がキャンセルされ、信号光の出力されるポートが18から17へ戻る。これによって、高速の信号光路切り替えが行われる。

【0023】前記の信号光路切り替えの原理については、本願出願人による特願平5-164455号に記載がある。本発明は、この光スイッチ動作を、半導体のモ

ノリシックな光回路で実現させ、かつ、低エネルギーで動作させ得るものである。すなわち、制御光は、制御光入力ポート内では吸収されず、非線形屈折率変化発現部11、12まで伝搬された後、11、12において吸収される。また、11、112における制御光に対する吸収係数は、入力側から出力側へ単調増加となっている。したがって、制御光吸収によって生成されるキャリア密度は、伝搬方向に沿って均一化される。すなわち、非線形屈折率変化発現部11、12の全長にわたって効率的な屈折率変化が起こり、低エネルギーでの光制御が可能になる。

【0024】以上、InP基板上に成長しうるInGaAsやInGaAsPなどの材料系を用いた場合を例にとって説明したが、本発明では、GaAs基板上に成長しうる材料系など他の半導体材料を用いた場合においても、同様の効果がみられる。また、減圧MOVPE法による選択成長を用いて形成される構造を例にとって説明したが、他の方法を用いて形成される構造の場合にも、同様の効果がみられる。

#### 【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の非線形光学素子では、制御光パルスの吸収により生成されるキャリアの密度が伝搬方向に沿って均一化される。これによって、本発明の非線形光学素子においては低エネルギー動作が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(A)は、第一の発明の非線形光学素子の一実施例の構造を示す斜視図である。(B)は、第一の発明の非線形光学素子を作製する際に用いるマスクパターンを示す斜視図である。

【図2】第一の発明の非線形光学素子の一実施例において、伝搬方向でのキャリア密度の分布を示す図である。

【図3】(A)は、第二の発明の非線形光学素子の一実施例の構造を示す斜視図である。(B)は、第二の発明の非線形光学素子を作製する際に用いるマスクパターンを示す斜視図である。

【図4】第三の発明による非線形光学素子の一実施例の構造を示す上面図である。

【図5】従来の技術による非線形光学素子の構造を示す斜視図である。

【図6】従来の技術による非線形光学素子において、伝搬方向でのキャリア密度の分布を示す図である。

#### 【符号の説明】

- 1 半絶縁性InP基板
- 2 InGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造
- 3 InP層
- 4 光導波部のフォトルミネセンス波長1.42 $\mu$ mの領域
- 5 光導波部のフォトルミネセンス波長1.46 $\mu$ mの領域

6 光導波部のフォトルミネセンス波長1.50 $\mu$ mの領域

7 SiO<sub>2</sub> マスク

8 SiO<sub>2</sub> マスク

9 光導波部の入射口

10 光導波部の出射口

11 非線形屈折率変化発現部

12 非線形屈折率変化発現部

13 制御光入力ポート

14 信号光入力ポート

15 制御光入力ポート

16 信号光干渉部

17 信号光出力ポート

18 信号光出力ポート

19 非線形屈折率変化発現部の入力側の領域

20 非線形屈折率変化発現部の出力側の領域

21 電極

22 SiドープGaAs基板

23 SiドープAlGaAs下部クラッド層

24 ノンドープGaAsコア層

25 ノンドープAlGaAs上部クラッド層

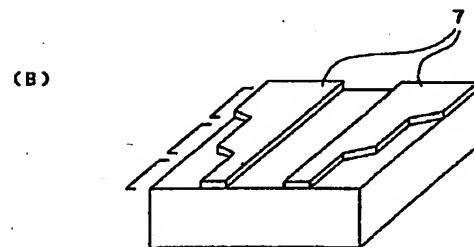
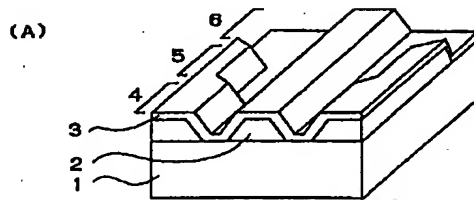
26 BeドープAlGaAs上部クラッド層

10 27 BeドープGaAsキャップ層

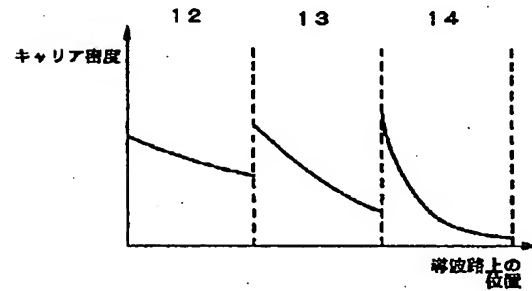
28 SiO<sub>2</sub> 絶縁膜

29 電極

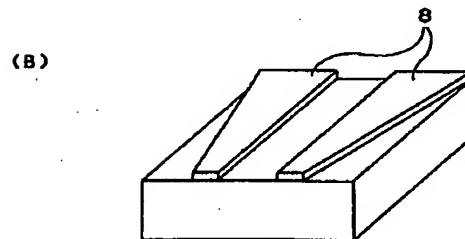
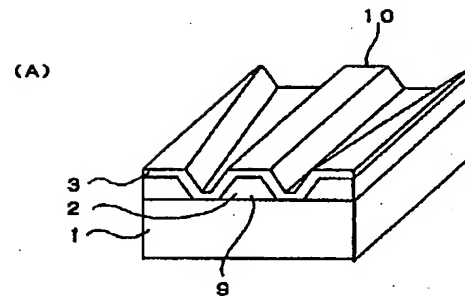
【図1】



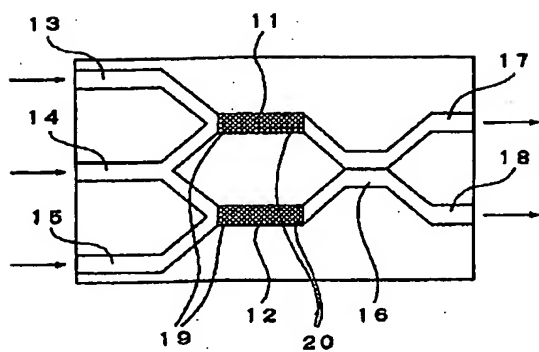
【図2】



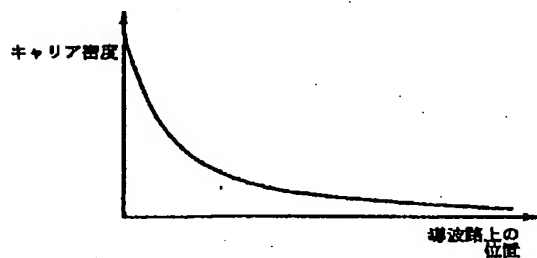
【図3】



【図4】



【図6】



【図5】

